昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, February 2014, 57(2): 218 - 225 ISSN 0454-6296

短时高温对桃小食心虫生长发育与繁殖的影响

李定旭[1]，雷喜红[2]，徐艳彩[1]，李 政[1]，高灵旺[2]
（1. 河南科技大学林学院，河南洛阳 471003；2. 中国农业大学农学与生物技术学院，北京 100193）

摘要：【目的】桃小食心虫 *Carposina sasakii* 是我国北方落叶果树的重要害虫。本研究旨在探索短时高温对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响。【方法】在室内 23±1℃、相对湿度 80%±7% 和 15L:9D 条件下，测定了桃小食心虫卵、幼虫、蛹、成虫在经历 35，38 和 41℃高温处理 1~4 h 后各阶段的发育历期、存活率和产卵量。【结果】短时高温对卵的孵化率无明显影响；经 41℃处理后，初蛀果幼虫(1 日龄)的发育历期明显延长，且存活率显著降低，3 日龄以上的幼虫受到的影响不明显；11 日龄蛹的羽化率在 38℃和 41℃处理中明显降低，畸形率也显著升高；经 38℃和 41℃处理的成虫存活率降低，寿命缩短，产卵量也减少。【结论】短时高温处理对桃小食心虫卵的影响较小，而对成虫的影响较大。这些结果有助于深入了解该虫在高温季节种群数量变动机制。

关键词：桃小食心虫；温度；短时高温处理；生长发育；存活率；繁殖
中图分类号：Q965 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2014)02-0218-08

Effects of brief exposure to high temperature on the growth, development and reproduction of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae)

LI Ding-Xu[1], LEI Xi-Hong[2], XU Yan-Cai[1], LI Zheng[1], GAO Ling-Wang[2] (1. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China; 2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract:【Aim】The peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura, is one of the most damaging pests in apple orchards in North China. We explored the influence of brief exposure to high temperature on the development and reproduction of the pest.【Methods】The developmental duration and survival rate of each life stage and fecundity were measured in the laboratory under the conditions of temperature 23 ± 1℃, RH 80% ± 7%, and photoperiod 15L:9D, after the eggs, larvae, pupae, and adults were exposed to high temperatures of 35, 38, and 41℃ for 1 - 4 h.【Results】High temperature had no significant effect on the hatchability of eggs. The larval duration significantly prolonged and the survival rate significantly decreased in 1-day-old larvae exposed to 41℃, while no significant effect was found on 3-day-old or over 3-day-old larvae exposed to 41℃. The emergence rates decreased and the deformity rates increased significantly in 11-day-old pupae exposed to 38 and 41℃. The longevity shortened and the survival rates and fecundity decreased significantly in female adults exposed to 38 and 41℃.【Conclusion】Brief exposure of *C. sasakii* to high temperature imposes less effect on its egg than on its adult. The results could improve our understanding of the mechanisms responsible for population dynamics of *C. sasakii* during high temperature season.

Key words: *Carposina sasakii*; temperature; brief exposure to high temperature; growth and development; survival rate; reproduction

桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura 是我国北方果树生产中的重要害虫，每年发生 1~2 代，以初孵幼虫蛀入果实为害，幼虫老熟后脱果，在树冠下土壤中结茧化蛹或越冬，是各地果园常年的防治对象(刘玉升等，1997)。温度是影响昆虫发育、存活和繁殖的重要生态因子，环境温度的变化会对其种群动态产生重要影响。

桃小食心虫在我国北方各地果园的发生情况虽有一定差异，但一般猖獗为害期主要集中在 6 - 8 月份，此时北方的日最高气温甚至可超过 40℃(常

基金项目：农业公益性行业科研专项经费资助项目(2011030024)
作者简介：李定旭，男，河南灵宝人，1965 年生，博士，教授，主要从事害虫综合治理及昆虫生态学研究，E-mail：ldigxu@163.com
收稿日期 Received：2013-10-16；接受日期 Accepted：2014-01-15

军等，2007）。极端高温可能会对桃小食心虫的生长发育、存活及繁殖造成一定的影响。已有的研究结果表明，温度对桃小食心虫的生长发育、存活及繁殖力有很大影响（Kim *et al.*，2001；李定旭等，2010a；Toyoshima *et al.*，2010），这些研究都是基于适温区的研究，无法外推到高温条件下。有关极端天气对其他种类昆虫的影响国内外已有深入研究，如棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Liu *et al.*，2004；Mironidis *et al.*，2010）、二化螟 *Chilo suppressalis*（罗举等，2004）、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（王竑晟等，2006）、莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila*（赵鑫等，2009）、山楂叶螨 *Tetranychus viennensis*（李定旭等，2010b）、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 及 B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci*（崔旭红等，2008；丛林等，2010）等，这些研究表明，短时高温可导致昆虫进入夏季滞育、生殖力减退、热休克或直接死亡等（杜尧等，2007）。但短时高温对桃小食心虫的影响尚未见报道。

本研究分析了不同高温处理对桃小食心虫生长发育及繁殖的影响，有助于深入了解该虫在高温季节种群数量的变动机制，为揭示其在极端温度下的种群变动规律提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

2008 年 7 月，自河南省洛阳市郊区（34.59°N，112.33°E）疏于管理的苹果园中收集带有桃小食心虫为害状的苹果，带回室内后获得脱果幼虫；随后在室内采用富士苹果进行连续饲养，至本研究之际，已连续饲养 40 余代，期间每年 5 月均混入 100 对左右的自然虫源以保持室内种群的活力；室内饲养条件为温度 23±1℃、相对湿度 80%±7%、光周期 15L∶9D。

1.2　试验方法

1.2.1　高温处理方法和饲养条件：试验在人工气候箱（PQX-450B-30H 型，宁波莱福科技有限公司制造）中进行。接虫方法参照李定旭等（2010）的方法，采用金冠苹果（Golden Delicious）进行饲养。试验设 35℃，38℃和 41℃（±1℃）3 个温度处理，并分别设 1，2 和 4 h 3 个处理时间（处理于每日 11:00－15:00 之间进行，幼虫和蛹期仅设 2 h 和 4 h 2 个处理时间）。试虫的日龄因虫态而异。高温处理期间保持相对湿度为 60%±7%，光照强度 24 000 lx。待高温处理结束后，随即将试虫转移至常温下继续饲养，控制温度为 23±1℃，相对湿度 80%±7%，光周期 15L∶9D。各处理均以相应虫态在 23±1℃恒温下的生长发育和繁殖作为对照。

1.2.2　卵的高温处理和观察：供试卵日龄设 1 d（≤12 h），3 d 和 5 d 共 3 个处理，每个处理重复 3～5 次，每次重复供试卵量 100～150 粒。所有卵经处理后转入常温 23±1℃、相对湿度 80%±7%、光周期 15L∶9D 的人工气候箱中继续培养；待卵粒露出黑头后，将卵卡剪成小块贴在苹果萼洼处，每个果实接卵 5 粒，然后，将果实单个装入罐头瓶内，以保鲜膜封口并用昆虫针在保鲜膜上扎若干个孔，最后将罐头瓶放入人工气候箱中。每天 9:00，13:00，17:00 和 21:00 各观察一次卵的孵化情况，记载卵的孵化和蛀入果实的幼虫数量（以蛀果孔为准），直至供试卵不再孵化为止，最后计算卵的孵化率和蛀果率（蛀入果实的幼虫数与孵化幼虫数之比）。

1.2.3　幼虫的高温处理和观察：幼虫日龄设 1 d（≤12 h），3 d，6 d 和 9 d 共 4 个处理。将即将孵化的卵接到金冠苹果（直径约 50 mm）上，每个果实接卵 8 粒，以保证每个果实中有幼虫 2～5 头，并在常温条件下饲养；当幼虫蛀入果实 1 d，3 d，6 d 和 9 d 时将带虫苹果置于上述高温条件下进行处理。每个处理共 50～70 个苹果。处理后转入常温气候箱中继续饲养，每日 9:00－21:00 每 4 h 观察 1 次幼虫脱果情况，统计幼虫存活率（脱出幼虫与蛀入幼虫数量比）及发育历期，并将幼虫单头装入指形管（20 mm×120 mm，装有含水量为 10% 的湿润细沙）中，待其结茧、化蛹、羽化。

1.2.4　蛹的高温处理和观察：将日龄为 2 d，5 d，8 d 和 11 d 的茧取出并放入直径 90 mm 的培养皿中，在上述高温条件下处理 1 h，2 h 和 4 h 后转入常温条件下，将处理后的茧单头放入指形管（20 mm×120 mm，装有含水量为 10% 的细沙）中继续饲养；每个处理茧的数量不少于 120 个。每日 9:00 和 21:00 观察记录羽化情况，并将各处理羽化的成虫进行配对饲养，逐日记录产卵量及成虫寿命。

1.2.5　成虫的高温处理和观察：供试成虫分交配组和未交配组分别进行。由于桃小食心虫成虫羽化多在每日 18:00－22:00 时，且多数成虫羽化的当晚即可交配（张领耘等，1964），故将新羽化的成虫在罐头瓶中配对过夜后作为交配组，单头过夜的新羽化的成虫作为未交配组；在上述高温条件下处理

1 h，2 h 和 4 h 后转入常温条件下，并将未交配组的雌雄蛾配对饲养。每个处理 15 对，重复 4～6 次。每日 9:00 和 21:00 观察记录成虫死亡情况，逐日记录产卵量及成虫寿命。雌虫死亡后立即解剖、查看交配囊以确定交配与否，并将交配组中未交配雌虫的数据剔除，统计交配率。

1.3 数据分析

试验数据均采用 SAS 9.0 软件进行统计分析。不同温度和处理时间和试虫日龄对卵孵化率、对幼虫的影响(包括发育历期、虫重、存活率等)、对蛹的羽化率及成虫的存活、交配、产卵和寿命等均采用三因素(日龄、温度、处理时间)方差分析；多因素互作检验显著后，则基于互作检验结果继续进行独立变量的比较检验，各参数均值的差异采用 Fisher 氏 LSD（$P<0.05$）方法进行比较。卵孵化率、幼虫存活率、羽化率等指标在方差分析前先进行反正弦转换。

2 结果与分析

2.1 卵期短时高温处理对卵孵化和初孵幼虫蛀果率的影响

实验结果表明(表 1)，不同日龄的桃小食心虫卵经过不同温度、时间处理后均能正常孵化，但与其在 23℃下的孵化率略有差异。其中，1，3 和 5 日龄的卵在经历 41℃高温处理 1 h 后的孵化率分别为 90.12%，92.89% 和 91.67%，处理 2 h 后的孵化率分别为 89.73%，91.44% 和 90.88%，处理 4 h 后的孵化率分别为 88.74%，90.02% 和 90.54%；而经历 35℃和 38℃高温处理后的孵化率均在92.57%～94.67%之间。与常温对照相比，在最高试验温度和最长处理时间下，1 和 5 日龄卵的孵化率仅降低5.19%和3.27%。方差分析结果(表2)表明，温度效应、处理时间效应和卵的日龄效应均不显著，且温度与处理时间、日龄与温度、日龄与处理时间的交互作用也不显著，表明不同日龄的桃小食心虫卵经历 35～41℃高温处理 1～4 h 后，其孵化率不受影响。

经高温处理的卵孵化为幼虫后多能够正常蛀入苹果果实(表 1)，其中，1 日龄的卵在经历 41℃高温处理 1，2 和 4 h 后的幼虫蛀果率分别为73.36%，71.64% 和 71.61%，3 日龄的卵经 41℃高温处理 1，2 和 4 h 后幼虫蛀果率分别为 73.12%，70.46% 和 70.38%，5 日龄的卵经 41℃高温处理 1，2 和 4 h 后幼虫蛀果率分别为 72.08%，70.22% 和69.45%，而常温下桃小食心虫的蛀果率为 72.31%，各处理之间并没有显著差异($F=0.6344$，$P=0.7732$)，说明卵经历高温处理后所孵化幼虫的蛀果能力也未受到明显的影响。

2.2 幼虫期短时高温处理对蛀果幼虫发育历期、存活率及成虫生殖力的影响

试验结果表明，不同日龄的桃小食心虫幼虫经过不同温度、不同时间的高温处理后，各处理脱果幼虫的体重均在 20～30 mg 之间，脱果幼虫的结茧率均在 90.34%～95.26% 之间，蛹的羽化率均在 91.23%～94.79%之间，各处理中成虫的平均寿命在7.4～9.2 d 之间，单雌平均产卵量则在 140～190 粒之间，这些指标的方差分析未见显著变化($P>0.05$)；但各处理的幼虫历期和存活率的差异明显(表 3)。方差分析(表 4)表明，幼虫日龄、幼虫日龄与温度的交互作用、日龄与处理时间的交互作用对幼虫发育历期的影响显著，而温度效应、处理时间、温度和处理时间的交互作用效应不显著；对幼虫存活率的影响亦有类似结果。

结果(表 3)表明，低龄幼虫遭受高温处理后其受影响程度明显高于高龄幼虫，同时，受到的影响程度与温度的高低有关。相同温度处理中，随着幼虫日龄的增大，其整个幼虫期的发育历期有逐步缩短的趋势；相同日龄处理中，随着温度的升高，其发育历期则有延长的趋势。在日龄较小(1 d)的处理中，幼虫的存活率随温度的升高而降低，日龄较高(3 d，6 d，9 d)的处理中，这种变化则不明显；蛀入初期(1 d)的幼虫经历 41℃高温处理后，其发育历期明显长于对照，而处理时间的影响并不大；高龄幼虫经高温处理后，其幼虫历期和存活率与对照的差异不明显。可见桃小食心虫低龄幼虫对短期极端高温更为敏感，短期极端高温可以显著影响桃小食心虫幼虫的发育历期和存活率。蛀入果实 9 d 的幼虫经高温处理后，存活率显著高于蛀入 0.5 d 经高温处理的幼虫，这一结果表明：短期高温对早期蛀入果实的幼虫具有更强的致死作用。

2.3 蛹期短时高温处理对其羽化率及成虫生殖力的影响

不同日龄的蛹经高温后，其羽化率、成虫的畸形率均受到明显的影响(表 5)，但雌虫的寿命($F=1.67$，$P=0.5658$)和产卵量($F=1.84$，$P=0.3352$)

表 1　卵期短时高温处理对桃小食心虫卵孵化率和初孵幼虫蛀果率的影响

Table 1　Effect of brief exposure of eggs to high temperature on the egg hatching rate and rate of neonatal larvae bored into fruits in *Carposina sasakii*

温度 Temperature (℃)	处理时间 Exposure duration (h)	卵日龄 Egg age 1 d 卵孵化率(%) Egg hatching rate	1 d 初孵幼虫蛀果率(%) Rate of neonatal larvae bored into fruits	3 d 卵孵化率(%) Egg hatching rate	3 d 初孵幼虫蛀果率(%) Rate of neonatal larvae bored into fruits	5 d 卵孵化率(%) Egg hatching rate	5 d 初孵幼虫蛀果率(%) Rate of neonatal larvae bored into fruits
35	1	94.66 ±1.62 a	73.44 ±2.02 a	94.45 ±1.84 a	73.14 ±1.96 a	94.36 ±1.92 a	73.23 ±2.13 a
	2	94.12 ±1.68 a	73.31 ±1.97 a	93.69 ±1.76 a	72.31 ±1.85 a	94.12 ±1.88 a	72.31 ±2.14 a
	4	93.25 ±1.75 a	72.66 ±1.89 a	93.44 ±1.94 a	72.26 ±1.94 a	92.88 ±1.79 a	72.47 ±1.98 a
38	1	94.08 ±1.84 a	73.02 ±2.06 a	93.58 ±1.68 a	72.42 ±1.99 a	93.65 ±1.95 a	71.82 ±1.86 a
	2	93.77 ±1.76 a	72.55 ±2.21 a	93.06 ±1.72 a	72.17 ±1.83 a	93.47 ±1.68 a	72.34 ±1.69 a
	4	93.79 ±1.92 a	73.13 ±1.98 a	92.57 ±1.59 a	73.06 ±1.88 a	92.61 ±1.59 a	71.63 ±1.84 a
41	1	90.12 ±1.94 a	73.36 ±2.14 a	92.89 ±1.83 a	73.12 ±2.06 a	91.67 ±1.88 a	72.08 ±2.11 a
	2	89.73 ±1.88 a	71.64 ±2.23 a	91.44 ±1.77 a	70.46 ±2.14 a	90.88 ±1.73 a	70.22 ±2.14 a
	4	88.74 ±1.91 a	71.61 ±2.25 a	90.02 ±1.86 a	70.38 ±2.22 a	90.54 ±1.86 a	69.45 ±2.44 a
23(CK)		93.60 ±1.66 a	72.31 ±1.94 a	93.60 ±1.66 a	72.31 ±1.94 a	93.60 ±1.66 a	72.31 ±1.94 a

表中数据为平均值 ± 标准差，同一列数据后不同字母表示经 Fisher 氏 LSD 检验差异不显著($P>0.05$)；下同。Data are presented in means ± *SD*, and those followed by different letters within a column are significantly different by Fisher's LSD test ($P<0.05$). The same for the following tables.

表 2　卵期短时高温处理对桃小食心虫卵孵化率和初孵幼虫蛀果率影响的方差分析

Table 2　Three-way AVOVA on the effect of brief exposure of eggs to high temperature on the egg hatchability and rate of neonatal larvae bored into fruits in *Carposina sasakii*

变异来源 Source of variation	自由度 *df*	卵孵化率 Egg hatching rate *F*	卵孵化率 Egg hatching rate *P*	初孵幼虫蛀果率 Rate of neonatal larvae bored into fruits *F*	初孵幼虫蛀果率 Rate of neonatal larvae bored into fruits *P*
温度 Temperature	2	1.99	0.3401	2.21	0.3121
日龄 Age in days	2	0.87	0.5526	0.68	0.4629
处理时间 Exposure duration	2	1.33	0.3472	1.33	0.3472
日龄 × 温度 Age in days × temperature	4	0.94	0.5134	0.94	0.5134
日龄 × 处理时间 Age in days × exposure duration	4	1.39	0.3622	1.39	0.3622
温度 × 处理时间 Temperature × exposure duration	4	1.64	0.3381	1.64	0.3381
日龄 × 处理时间 × 温度 Age in days × exposure duration × temperature	8	1.66	0.3844	1.66	0.3844

则未见显著变化。桃小食心虫的蛹经 2 ~ 4 h高温处理后，其羽化率随着温度升高和蛹日龄的增大而出现明显降低，而畸形率则明显增加；2 - 8 日龄的蛹经 35 ~41℃高温处理后，羽化率和成虫畸形率与对照相比差异不显著；11 日龄的茧经 35℃高温处理后，羽化率和成虫畸形率亦未受到明显影响，11 日龄的蛹经 38℃和 41℃高温处理 4 h 后，其羽化率在处理时间较长时显著降低至83.67% 和 80.59%，与对照相比降低了 10.44% 和 13.73%；成虫畸形率则显著增高，畸形率可达8.29% ~15.83%。成虫的产卵前期及次代卵的孵化率均无明显影响($F=0.89$, $P=0.6652$)。

表 3 幼虫期短时高温处理对桃小食心虫蛀果幼虫历期和存活率的影响

Table 3 Effect of brief exposure of larvae to high temperature on the duration and survival rate of *Carposina sasakii* larvae

处理 Treatment	1 日龄幼虫 1-day-old larva		3 日龄幼虫 3-day-old larva		6 日龄幼虫 6-day-old larvae		9 日龄幼虫 9-day-old larvae	
	幼虫历期(d) Larval duration	存活率(%) Survival rate	幼虫历期(d) Larval duration	存活率(%) Survival rate	幼虫历期(d) Larval duration	存活率(%) Survival rate	幼虫历期(d) Larval duration	存活率(%) Survival rate
35℃ 2 h	16.07 ±1.67 ab	72.28 ±5.34 a	16.13 ±2.16 a	71.20 ±4.24 a	15.79 ±2.05 a	73.66 ±4.12 a	14.36 ±1.76 a	73.61 ±5.34 a
35℃ 4 h	16.31 ±1.86 ab	72.68 ±5.89 a	16.32 ±1.38 a	70.60 ±4.22 a	16.06 ±2.26 a	72.49 ±4.54 a	15.05 ±1.91 a	73.88 ±4.85 a
38℃ 2 h	16.46 ±1.95 ab	69.59 ±3.64 ab	14.77 ±2.01 a	74.93 ±4.14 a	14.93 ±1.62 a	74.41 ±4.72 a	14.75 ±2.00 a	74.08 ±4.07 a
38℃ 4 h	16.83 ±1.62 ab	68.63 ±4.98 ab	15.61 ±1.42 a	73.30 ±4.19 a	15.57 ±1.42 a	72.82 ±4.12 a	14.96 ±1.86 a	73.09 ±4.60 a
41℃ 2 h	17.37 ±1.44 a	64.54 ±6.09 b	15.13 ±2.16 a	68.74 ±4.45 a	15.49 ±1.59 a	72.15 ±4.89 a	14.60 ±1.91 a	72.92 ±4.71 a
41℃ 4 h	17.57 ±1.67 a	61.66 ±6.94 b	15.32 ±1.38 a	68.43 ±3.69 a	15.79 ±2.05 a	72.24 ±4.80 a	14.95 ±2.02 a	72.40 ±5.15 a
23℃(CK)	15.12 ±1.97 b	74.72 ±3.22 a	15.12 ±1.97 a	74.72 ±3.22 a	15.12 ±1.97 a	74.72 ±3.22 a	15.12 ±1.97 a	74.72 ±3.22 a

表 4 幼虫期短时高温处理对桃小食心虫蛀果幼虫历期和存活率影响的方差分析

Table 4 Three-way ANOVA on the effects of brief exposure of larvae to high temperature on the duration and survival rate of *Carposina sasakii* larvae

变异来源 Source of variation	自由度 *df*	幼虫历期 Larval duration		存活率 Survival rate	
		F	*P*	*F*	*P*
日龄 Age in days	3	2.49	0.0622	2.37	0.0766
温度 Temperature	2	1.19	0.3519	1.02	0.3898
处理时间 Exposure duration	1	1.32	0.2977	1.72	0.1933
日龄×温度 Age in days × temperature	6	3.43	0.0075	2.61	0.0105
日龄×处理时间 Age in days × exposure duration	3	2.14	0.0142	3.21	0.0471
温度×处理时间 Temperature × exposure duration	2	1.59	0.2368	1.47	0.1798
日龄×温度×处理时间 Age in days × temperature × exposure duration	6	1.31	0.3030	1.22	0.2970

2.4 成虫期短时高温处理对成虫寿命及生殖力的影响

表 6 表明，短时高温对桃小食心虫已交配成虫的存活率、雌虫寿命和产卵量都有显著影响。其中，对雌虫寿命的影响较为明显($P<0.05$)，除 35℃处理 1 h 外，其余所有处理中雌虫的寿命均显著短于对照；对成虫存活率影响($P<0.01$)的程度取决于高温的强度和持续时间；35℃高温 1 ~4 h 对成虫存活率无明显影响，41℃高温对成虫的存活率显著降低，而 38℃时较长时间(4 h)高温处理的影响显著，短时间高温则无明显影响；经历高温后各处理中存活雌虫的产卵量差异显著($P<0.05$)，与对照相比，41℃高温对成虫产卵量的影响达到显著水平，35℃和 38℃处理中存活雌虫的产卵量虽有所降低，但未达到显著水平。各处理中次代卵的孵化率未见明显变化。

高温对未交配的桃小食心虫成虫的存活率、雌虫寿命和产卵量也有显著影响，由于这部分数据与表 6 中基本一致，此处不再一一列出。需要指出的是，经历高温后存活成虫的交配率受到明显影响。经 41℃高温处理 1 ~4 h 后，雌虫的交配率分别为 62.5%，58.7%和 51.5%；经 38℃高温处理 1 ~4 h 后，雌虫的交配率分别为 74.5%，72.7%和 61.5%；经 35℃高温处理 1 ~4 h 后，雌虫的交配率分别为 82.5%，81.1%和 78.5%，而对照组雌虫的交配率为 82.5%，说明短时高温也能影响成虫的交配率。

3 结论与讨论

在我国北方各地果园，桃小食心虫多在 6-8 月

表 5　蛹期短时高温处理对桃小食心虫蛹羽化率及成虫生殖力的影响

Table 5　Effect of brief exposure of pupae to high temperature on the emergence rate and reproduction of *Carposina sasakii* adults

蛹日龄 Pupal age	处理 Treatments	羽化率(%) Emergence rate	畸形率(%) Deformity rate	雌虫寿命(d) Female longevity	单雌产卵量 Number of eggs laid per female
2 d	35℃ 2 h	92.33 ±2.27 a	2.61 ±1.70 b	8.05 ±0.64 a	173.13 ±16.22 a
	35℃ 4 h	92.51 ±2.44 a	2.25 ±1.03 b	8.03 ±0.70 a	190.33 ±19.83 a
	38℃ 2 h	91.52 ±4.17 a	1.71 ±1.11 b	8.98 ±0.58 a	194.36 ±13.29 a
	38℃ 4 h	90.05 ±2.06 a	2.87 ±1.76 b	8.35 ±0.57 a	189.22 ±11.73 a
	41℃ 2 h	92.33 ±2.16 a	2.28 ±1.43 b	9.73 ±0.54 a	207.83 ±16.99 a
	41℃ 4 h	91.80 ±3.22 a	2.55 ±1.44 b	9.40 ±0.56 a	197.16 ±16.89 a
5 d	35℃ 2 h	92.22 ±2.68 a	2.05 ±1.24 b	8.24 ±0.67 a	153.53 ±21.21 a
	35℃ 4 h	91.12 ±4.54 a	2.89 ±1.89 b	8.06 ±0.54 a	151.13 ±16.01 a
	38℃ 2 h	92.08 ±2.74 a	4.44 ±2.72 b	9.67 ±0.76 a	209.59 ±17.87 a
	38℃ 4 h	93.33 ±2.11 a	4.30 ±1.76 b	8.79 ±0.42 a	166.06 ±21.23 a
	41℃ 2 h	93.03 ±5.35 a	5.42 ±2.29 b	9.69 ±0.72 a	209.63 ±20.96 a
	41℃ 4 h	91.81 ±4.12 a	1.66 ±1.66 b	8.25 ±0.52 a	162.56 ±13.74 a
8 d	35℃ 2 h	93.67 ±6.18 a	3.43 ±2.15 b	8.15 ±0.61 a	162.87 ±14.56 a
	35℃ 4 h	91.67 ±2.49 a	1.43 ±1.43 b	9.06 ±0.77 a	168.00 ±18.09 a
	38℃ 2 h	92.56 ±4.99 a	1.19 ±1.19 b	8.64 ±0.67 a	161.79 ±17.19 a
	38℃ 4 h	89.59 ±2.83 ab	4.81 ±2.52 b	9.14 ±1.10 a	197.92 ±19.19 a
	41℃ 2 h	90.03 ±3.33 a	4.29 ±2.86 b	9.88 ±0.75 a	195.60 ±19.49 a
	41℃ 4 h	86.67 ±3.33 ab	4.21 ± 1.66 b	8.40 ±0.45 a	171.30 ±14.81 a
11 d	35℃ 2 h	91.56 ±4.99 a	2.19 ±1.19 b	8.64 ±0.67 a	161.79 ±17.19 a
	35℃ 4 h	87.59 ±2.83 ab	5.43 ±2.50 ab	9.14 ±1.10 a	197.92 ±19.19 a
	38℃ 2 h	88.03 ±3.33 ab	8.29 ±2.86 a	9.88 ±0.75 a	195.60 ±17.39 a
	38℃ 4 h	83.67 ±3.33 b	12.21 ± 1.66 a	8.40 ±0.45 a	171.30 ±14.81 a
	41℃ 2 h	86.06 ±4.99 b	11.19 ±1.19 a	8.64 ±0.67 a	161.79 ±17.19 a
	41℃ 4 h	80.59 ±2.83 b	15.83 ±2.50 a	9.14 ±1.10 a	197.92 ±19.19 a
–	23℃(CK)	93.42 ±3.14 a	2.56 ±2.56 b	9.74 ±0.49 a	190.59 ±13.83 a

进入危害盛期，而在 6 – 7 月间常会经历大面积的持续高温甚至极端高温天气，研究这种高温天气对桃小食心虫种群的影响及桃小食心虫对高温的敏感程度有助于深入了解该虫在高温季节种群数量变动机制，对制定相应的治理措施具有重要的意义。本研究结果表明：高温对桃小食心虫的影响随该虫的生育阶段不同而有差异，高温影响的程度随高温的强度、持续时间而异，对未成熟阶段桃小食心虫的影响主要表现为存活率下降，而对随后的寿命和产卵量无明显影响，成虫期的高温处理则对其存活率、产卵量和寿命有显著的影响。

桃小食心虫的卵期经历短时高温甚至是极端高温后，其孵化率不受影响，初孵幼虫的蛀果率亦不受影响；说明桃小食心虫卵的期对高温具有较强的抵抗能力，同时也意味着桃小食心虫对果实的为害不会因为高温而有所减轻。

幼虫期受高温影响的程度不仅与高温的强度、持续的时间有关，还与幼虫的日龄(生理状态)有关。幼虫只有蛀入初期的幼虫(1 日龄)在 41℃下表现出存活率降低、发育历期延长，这可能与此时幼虫个体小、对高温抵抗力差有关，但进入成虫期后其寿命和产卵量与对照相比无明显变化，说明短时高温对幼虫的影响是即时的，不像其他一些昆虫害有时滞效应(Ma *et al*., 2004；丛林等，2010)；而高龄幼虫则表现出更强的高温忍耐能力。

蛹期经历高温处理过后，只有在 11 日龄时，38℃高温处理 4 h 或温度达 41℃后，羽化率则显著降低，畸形率显著升高；而在常温下蛹的历期约为

表 6 成虫期短时高温处理对桃小食心虫成虫寿命及生殖力的影响

Table 6 Effect of brief exposure of adults to high temperature on the longevity and reproduction of *Carposina sasakii* adults

处理 Treatments	存活率(%) Survival rate	雌虫寿命(d) Female longevity	单雌产卵量 Number of eggs laid per female	卵孵化率(%) Egg hatchability
35℃ 1 h	97.81 ±0.67 a	9.18 ±0.46 a	170.74 ±18.87 a	94.54 ±1.54 a
35℃ 2 h	97.54 ±0.70 a	7.30 ±0.43 b	170.00 ±16.18 a	94.49 ±1.11 a
35℃ 4 h	96.28 ±0.51 a	7.84 ±0.41 b	158.71 ±16.32 ab	94.20 ±1.57 a
38℃ 1 h	96.38 ±1.62 a	7.84 ±0.41 b	164.74 ±19.03 a	94.20 ±1.57 a
38℃ 2 h	94.27 ±1.55 a	7.84 ±0.41 b	157.31 ±14.13 ab	94.20 ±1.57 a
38℃ 4 h	89.75 ±1.76 b	7.09 ±0.38 b	132.43 ±13.40 b	93.48 ±2.53 a
41℃ 1 h	88.43 ±1.54 b	7.70 ±0.38 b	141.27 ±15.65 ab	93.25 ±2.85 a
41℃ 2 h	84.97 ±2.38 b	6.89 ±0.44 b	108.48 ±15.45 b	94.39 ±1.44 a
41℃ 4 h	74.64 ±2.74 c	6.84 ±0.32 b	90.03 ±11.95 b	94.23 ±1.55 a
23℃ (CK)	99.38 ±0.48 a	9.43 ±0.68 a	187.22 ±16.52 a	94.76 ±1.52 a

12 d（李定旭等，2010a），即蛹在临羽化前一段时间对高温较为敏感，这可能是此时蛹期内部一些生理活动因突然的高温而受到干扰才导致羽化率降低、成虫畸形率升高。Kim 等（2001）也认为，桃小食心虫的蛹期对温度的忍耐能力较差。由于幼虫脱果后多在树盘内的土壤表层结茧、化蛹，因树冠的遮蔽，树盘内土壤表层的实际温度很难达到很高，如，2010 年 6 月 25 日，洛阳当地气温达到 40.8℃，而我们在田间实际测得的树盘内土壤表层温度只有 34.7℃（作者未发表资料），因此，短时高温对蛹期的实际影响相对较小。

成虫经历高温处理后，除 35℃ 1 h 外其余处理的寿命均显著缩短，产卵量也有所下降；温度 38℃以上和处理时间 2 h 以上则导致存活率显著降低，温度 41℃以上则使得寿命、存活率、产卵量都明显降低。这些结果与现有研究的结果类似（Liu *et al*.，2004；Ma *et al*.，2004；罗举等，2005；赵鑫等，2009），究其原因，可能与不同昆虫对高温的忍耐力或敏感性差异有关。

本研究结果表明，短时高温处理对桃小食心虫卵的影响较小，而对成虫的影响较大。桃小食心虫各虫态的栖息环境明显不同：幼虫期和蛹期分别栖息于果实内部和土壤中，而成虫和卵则裸露生活，这就使得这两个虫态更容易受到高温的影响，其中，成虫期一旦遭遇短时高温，则会导致死亡率增加甚至产卵量降低，从而引起种群的数量变动。因此建议，在高温季节该虫的防治实践中，应该注重以查卵量来指导田间施药防治。

参考文献（References）

Chang J, Li SP, Wang JJ, Yu WD, Ge QS, 2007. Temporal and spatial characteristic and circulation conceptual models at 500 hPa of high temperature days in Henan summer. *Meteorological and Environmental Sciences*, 30(2): 30 –34. [常军，李素萍，王纪军，余卫东，葛强生，2007. 河南夏季高温日数的时空分布特征及 500hPa 环流型. 气象与环境科学，30(2): 30 –34]

Cong L, Guo JY, Wan FH, 2010. Effect of heat shock temperature and duration of exposure on the survival and fecundity of *Bemisia tabaci* B-biotype (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 37(4): 347 –352. [丛林，郭建英，万方浩，2010. 卵期短时高温暴露对 B 型烟粉虱存活和繁殖特性的影响. 植物保护学报，37(4): 347 –352]

Cui XH, Xie M, Wan FH, 2008. Effects of brief exposure to high temperature on survival and fecundity of two whitefly species: *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 41(2): 424 –430. [崔旭红，谢明，万方浩，2008. 短时高温暴露对 B 型烟粉虱和温室白粉虱存活以及生殖适应性的影响. 中国农业科学，41(2): 424 –430]

Du Y, Ma CS, Zhao QH, Ma G, Yang HP, 2007. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanism of insects: a literature review. *Acta Ecologica Sinica*, 27(4): 1565 –1572. [杜尧，马春森，赵清华，马罡，杨和平，2007. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展. 生态学报，27(4): 1565 –1572]

Kim DS, Lee JH, Yiem MS, 2001. Temperature dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae), and its stage emergence models. *Environmental Entomology*, 30: 298 –305.

Li DX, Wang HW, Wang JY, Kang ZK, Dong JF, Shen ZR, 2010a.

Life tables of the laboratory population of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 53(7): 773 –779. [李定旭, 王红伟, 王佳阳, 康照奎, 董钧锋, 沈佐锐, 2010a. 桃小食心虫在不同温度下的实验种群生命表. 昆虫学报, 53(7): 773 –779]

Li DX, Zhang XN, Yang YL, Zhu HW, 2010b. Effects of high temperature shocks on hawthorn spider mite, *Tetrancychus viennensis* Zacher. *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4437 –4444. [李定旭, 张晓宁, 杨玉玲, 朱华伟, 2010b. 高温冲击对山楂叶螨的影响. 生态学报, 30(16): 4437 –4444]

Liu YS, Cheng JA, Mou JY, 1997. Review of the advances of the peach fruit-borer (*Carposina sasakii* Matsumura). *Journal of Shandong Agricultural University*, 28: 207 –214. [刘玉升, 程家安, 牟吉元, 1997. 桃小食心虫研究概况. 山东农业大学学报, 28: 207 –214]

Liu ZD, Gong PY, Wu KJ, Li DM, 2004. Effects of parental exposure to high temperature on offspring performance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): adaptive significance of the summer diapause. *Applied Entomology & Zoology*, 39(3): 373 –379.

Luo J, Zhang XX, Zhai BP, Guo YR, Zhu JH, 2005. Effect of high temperature on the growth, survival and reproduction of a laboratory population of the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker. *Acta Ecologica Sinica*, 25(4): 931 –936. [罗举, 张孝羲, 翟保平, 郭玉人, 朱建华, 2005. 高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖的影响. 生态学报, 25(4): 931 –936]

Ma CS, Hau B, Poehling HM, 2004. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on reproduction of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110: 65 –71.

Mironidis GK, Savopoulou SM, 2010. Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *J. Therm. Biol.*, 35: 59 –69

Toyoshima S, Arai T, Yaginuma K, 2010. Effect of constant temperature on the development of peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Bull. Natl. Inst. Fruit Tree Sci.*, 10: 1 –8.

Wang HS, Xu HF, Cui F, 2006. Effect of high temperature on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 19(5): 916 –919. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 2006. 高温处理对甜菜夜蛾雌虫成虫期生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 19(5): 916 –919]

Zhang LY, Zhang NX, Shu ZQ, Huang KX, 1964. Observations of mating and egg-laying characteristics in adult peach fruit borer, *Carposina niponensis*. *Entomological Knowledge*, (6): 271 –273. [张领耘, 张乃鑫, 舒宗泉, 黄可训, 1964. 桃小食心虫(*Carposina niponensis* Wal.)成虫交配及产卵习性观察. 昆虫知识, (6): 271 –273]

Zhao X, Fu JW, Wan FH, Guo JY, Wang JJ, 2009. Effects of brief high temperature exposure on reproductive characteristics of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica*, 52(10): 1110 –1114. [赵鑫, 傅建炜, 万方浩, 郭建英, 王进军, 2009. 短时高温暴露对莲草直胸跳甲生殖特性的影响. 昆虫学报, 52(10): 1110 –1114]

(责任编辑: 袁德成)